レター

福井県東部、池田町に分布する上部白亜系足羽層の年代—花粉層位学的アプローチ

Geologic age of the Upper Cretaceous Asuwa Formation of Ikeda Town, eastern part of Fukui Prefecture, Japan—A palynostratigraphic approach

佐沢 豪^{1,†} ルグラン ジュリアン^{2,3}
矢部 淳⁴ 上松佐知子¹ 指田勝男¹

Tsuyoshi Sazawa^{1,†}, Julien Legrand^{2,3},
Atsushi Yabe⁴, Sachiko Agematsu¹ and
Katsuo Sashida¹

2019年8月5日受付.
2020年2月10日受理.

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科
Graduate School of Life and Environmental Sciences, the
University of Tsukuba, Tsukuba 305-8572, Japan

² 東京大学大学院理学系研究科
Graduate School of Science, the University of Tokyo, To-
kyo 113-0033, Japan

³ 中央大学理工学部生命科学科
Department of Biological Sciences, Faculty of Science and
Engineering, Chuo University, Tokyo 112-8551, Japan

⁴ 国立科学博物館地学研究所
Department of Geology and Paleontology, National Muse-
um of Nature and Science, Tsukuba 305-0005, Japan

[†] 現所属: 株式会社ダイヤコンサルタントジオエンジニアリン
グ事業本部

Present address: Business Headquarters for Geo-Engineer-
ing, DIA Consultants, Co. Ltd., Kita-ku, Saitama 331-0811,
Japan

Corresponding author: A. Yabe, yabeatsu@kahaku.go.jp

Abstract: A palynostratigraphic study was conducted on the Upper Cretaceous Asuwa Formation cropping out at Ikeda Town, eastern Fukui Prefecture, central Japan, to make a precise determination of its age. An abundant and diverse assemblage of palynomorphs (52 genera and 72 species) was obtained from three horizons of mudstone in the upper member (the Sarao Interbedded Sandstone and Mudstone Member). A common stratigraphic range of index angiosperm pollen belonging to the Triprojectate (5 genera and 8 species) and Oculata (1 genus and 2 species) types indicates a Maastrichtian age for the deposit. This age is concordant with that of the Omodani Rhyolite, which is located ~40 km to the east of Ikeda, and those of later stages of the Nohi Rhyolites. The results provide important constraints on the timing and western expansion of rhyolitic volcanic activity 50 km toward the Sea of Japan in western-central Japan.

Keywords: Asuwa Formation, palynology, geologic age, Maastrichtian, Cretaceous, Central Japan

はじめに

後期白亜紀は、白亜紀初期に出現した被子植物が急激に多様化し、植生の優占種が裸子植物から被子植物へと劇的に移り変わり現代化した時代である。本邦には被子植物化石を含む上部白亜系が各地で知られている。しかしその多くが陸成層であることなどから、年代的な位置付けに課題が残されている。

福井県池田町付近に分布する足羽層(Tsukano and Miura, 1959)は、中部地方に広く分布する下部白亜系の手取層群には被子植物化石が含まれないのに対し、被子植物化石を含む地層として報告された(松尾・喜田, 1953; Matsuo, 1954)。本層は、これに先立って発見された石川/福井県境の谷峠付近の大道谷層(天野・遠藤, 1952)とともに酸性凝灰岩を特徴的に含む。これらと同様な堆積物は中部地方の各地で発見され(Fig. 1A; 河合, 1956; 大村, 1972; 河田ほか, 1976 など)、後期白亜紀に広域で起こった酸性火成活動に伴う堆積物と考えられた(Matsuo, 1962; 塚野, 1969)。

足羽層から産出した大型植物化石は足羽植物群と呼ばれ、Matsuo(1962)によりその全体像が初めて記載報告された。本植物群は中生代型ソテツ類の *Nilssonsonia* 属6種が多産し、現生の *Nelumbo* 属に類似した *Nelumbium* 属や *Trochodendroides* 属などの被子植物をわずかに含む。*Nilssonsonia* 属の系統的な位置づけから Matsuo(1962)は本植物群をサハリン北部のギリアーク(Gyliakian)植物群(Kryshtofovich, 1918, 1937)に対比し、その時代をチューロニアンと結論づけた(Fig. 2)。また、松尾(1965)は大道谷層の植物群(Matsuo, 1970)では *Nilssonsonia* 属の種数が少なく、被子植物の構成種も足羽植物群と異なることから、大道谷層の時代は足羽層よりも若いと結論している(Fig. 2)。これに対して、Tanai(1979)は極東アジアの後期白亜紀植物群の対比論の中で、東北地方太平洋側に分布する久慈層群(サントニアン～前期カンパニアン)の化石群集との比較から、足羽植物群をそれと同じかやや若いものとみなし中期カンパニアンに、大道谷植物群を後期カンパニアンに位置付けた。その後、大道谷層(高橋, 1991; Nichols et al., 2010)や大雨見山層群の宮谷川層(Takahashi and Shimono, 1982)は、花粉層位学的研究により白亜紀末期のマーストリヒチアンの堆積物であることが示された。大雨見山層群は濃飛流紋岩類に対比されるが(山田ほか, 2005)、宮谷川層を覆う明ヶ谷溶結凝灰岩層の噴出年代(約66 Ma: 棚瀬ほか, 2005)も宮谷川層の花粉層位学的な時代論を支持している。大久保・木村(1994)は

Fig. 1. (A) Distribution of the Asuwa Formation and comparable strata in eastern Fukui Prefecture, Central Japan. The base map is from the seamless digital geological map of Japan 1:200,000, 29 May 2015 version. (B) Geological map of the area around the type locality of the Asuwa Formation, showing sampling points (modified from Omura, 1972). (C) Columnar sections of the lower and middle Sarao Interbedded Sandstone and Mudstone Member of the Asuwa Formation.

Geologic Time		Sakhalin ^{*1}	Northern Japan	Central Japan	Western Japan
Eocene	Ypresian				
	Thanetian		Oarai ^{*2}		
	Selandian				
	Danian		Oarai		
Late Cretaceous	Maastrichtian		Hakobuchi	Asuwa ^{*4} Omichidani ^{*5}	Izumi ^{*7}
	Campanian	Orokian	Kuji ^{*2} Hakobuchi ^{*3}		Izumi
	Santonian				Kamogata
	Coniacian			Omichidani	
	Turonian			Asuwa	
	Gylikian				Kamogata ^{*6}
	Cenomanian				

Fig. 2. Correlation of selected Late Cretaceous–early Paleogene floras in Japan and Sakhalin (Matsuo, 1970), and current understandings of their geological ages. The left-hand column of each region is that proposed by Matsuo (1970). The right-hand column is a compilation of information from the following studies: ^{*1}, Matsuo (1970); ^{*2}, Ando (2006); ^{*3}, Ando & Tomosugi (2005), although not showing the Paleogene part of the group; ^{*4}, this study; ^{*5}, Takahashi (1991); ^{*6}, Sonehara & Yagi (2012); ^{*7}, Miyata et al. (1993), whereby the age of the Izumi Range, from which plant fossils were recovered, was applied.

Table 1. Occurrence of index angiosperm pollen grains from the Asuwa Formation and comparison with those of the Miyadani-gawa and Omichidani formations.

Species	Sample (Asuwa Formation)			Miyadani-gawa Formation (Takahashi and Shimono, 1982)	Omichidani Formation (Takahashi, 1991; Nichols <i>et al.</i> , 2010)
	AS1	AS2	ASM		
Triprojectate-type pollen					
<i>Aquilapollenites aequus</i> Bolkhovitina, 1959 (Fig. 2-1)			Abundant		
<i>A. quadrilobus</i> Rouse emend. Srivastava and Rouse, 1970 (Fig. 2-2)	Present	Present		Reported	Reported
<i>Integricarpus protrusum</i> (Takahashi and Shimono) Braman, 2002 (Fig. 2-3)			Present	Reported	
<i>Reticarpus delicatus</i> (Stanley) Braman, 2013 (Fig. 2-4)	Common	Common	Abundant		Reported
<i>R. senonicus</i> (Mchedlishvili) Braman, 2013 (Fig. 2-5)			Present		
<i>Retroprojectus pseudosenonicus</i> (Frederiksen) Braman, 2013 (Fig. 2-6)			Abundant		
<i>Triprojectus attenuatus</i> (Funkhouser) Braman, 2013 (Fig. 2-7)		Present	Present		Reported
<i>T. aucellatus</i> (Srivastava) Braman, 2013 (Fig. 2-8)	Present			Reported	
Oculata-type pollen					
<i>Wodehouseia spinata</i> Stanley, 1961 (Fig. 2-9)	Present	Present	Rare		Reported
<i>W. stanleyi</i> Srivastava, 1966 (Fig. 2-10)	Present				

足羽層の花粉分析にいち早く取り組み、いくつかの示準性のある種の存在から、本層が白亜紀末期のマーストリヒチアンである可能性を初めて指摘したものの、その詳細は公表されていない。

一方、足羽層に伴われる酸性凝灰岩を濃飛流紋岩類に含まれる面谷流紋岩(河合, 1956)もしくは奥美濃酸性岩類(棚瀬, 1982)の西方延長だとして、本層を宮谷川層や大道谷層に対比する見解(Tsukano and Miura, 1959; 塚野, 1969)がある。九頭竜湖南方の面谷流紋岩については、中島・岩野(1987)により 67.3 ± 1.3 Ma のフィッション・トラック年代が報告されているが、それよりも西の地域については放射年代値が報告されていない。このため面谷地域よりも西に分布する足羽層および相当層(塚野, 1969)ならびに後期白亜紀流紋岩類(Fig. 1A)の位置づけや、中部地方における白亜紀末期の火成活動の広がりには十分に解明されていなかった。このため、最近でも、松尾の見解(Matsuo, 1970)を踏襲して足羽層を白亜紀中頃～末期の堆積物だとする見解もあり(福井県, 2010)、本層の年代は、古植物学だけでなく、地域層序や火成活動変遷史を考えるうえでも大きな課題となっていた。著者は、足羽層においてソテツ類化石を始めとする大型植物化石の分類学的再検討を進めているが、その過程で本層に含まれる花粉群集を検討し、花粉層位学的に年代を決定することができたので報告する。

地 質 概 説

福井県東部に位置する今立郡池田町の足羽川流域を中心に分布する上部白亜系足羽層(Tsukano and Miura, 1959)は、一般に北西-南東方向の走向をもち、北東にゆるく傾斜する同斜構造を示す(Fig. 1B)。本層は調査地域南部で超丹波帯東俣コンプレックス(Nakae, 2012)の硬質細粒砂岩を不整合に覆い、北部では上部漸新統の西谷流紋岩類に覆われる(Fig. 1B)。

本層は整合で重なる下部の^{どあい}土合凝灰岩部層と上部の皿尾砂岩泥岩部層に分けられる。土合凝灰岩部層は部分的に厚さ 15 m を超える流紋岩質凝灰岩と同質砂岩からなり、一部に水流の影響を示す堆積構造が認められる。上位の皿尾砂岩泥

岩部層は砂岩泥岩互層からなり、その中部で 4～5 層の褐炭層や炭質頁岩層が認められるが、上部で凝灰質砂岩がより厚く発達する傾向がある。本部層中部からは多くの大型植物化石を産出する。

岩相と試料採集層準

本研究では池田町志津原に分布する皿尾砂岩泥岩部層下部および中部において、大型植物化石を含む 2 層準の泥岩層から花粉分析用の試料(AS1, AS2)を採集した(Fig. 1B, C)。また、Matsuo(1954, 1962)が皿尾部落の廃坑のズリから報告した大型植物化石のうち、国立科学博物館に収蔵されている標本(NSM PP-14832)に付随する灰色泥岩(ASM)も合わせて分析した。

本部層では砂質の小礫岩ないし粗粒～細粒の砂岩からはじまり泥岩にいたる厚さ 1～5 m 程度の上方細粒化ユニットが複数重なり、側方への層厚変化も顕著である。砂岩層には稀に斜交層理が認められ、泥岩層には平行葉理が発達する。ユニット上部には植物の根が特徴的にふくまれるほか、しばしば薄い炭層が挟まれる。AS1 と AS2 はどちらもユニット上部の層準で、シダ類(*Cladophlebis* sp.)やソテツ類(*Nilssonia* spp.)の葉や、針葉樹の小枝(*Metasequoia* sp. および *Glyptostrobus* sp.)などの大型植物化石を多産する。厚い白色凝灰質砂岩層の対比に基づく、AS1 の層準は AS2 よりも 10 数 m 上位と推測される。ASM の詳しい層準は不明だが、本部層では中部付近でユニット上部の炭層や炭質頁岩、灰色頁岩が発達するため、AS1 と同じかやや上位の層準に由来すると推測した(Fig. 1C)。

花粉化石の研究手法

花粉分析の方法は、Legrand et al.(2013)に従った。プレパラート上の花粉化石の位置は England Finder により記録した。花粉化石を微分干渉顕微鏡(DMRD, Leica; 顕微鏡カメラ: MC170HD, Leica)および共焦点レーザー顕微鏡(LSM510, Zeiss)を用いて観察した。研究に用いた花粉プレパラートおよび残渣は国立科学博物館(NSM PP)に保管されている。

Fig. 3. Index pollen grains from the Sarao Interbedded Sandstone and Mudstone Member (differential interference contrast microscope image). 1–8, Triprojectate-type pollen grains. 1. *Aquilapollenites aequus*, ASM (b, B27-4); 2. *A. quadrilobus*, AS1 (b, M27-1); 3. *Integricorpus protrusum*, ASM (b, R33-3); 4. *Reticorpus delicatus*, ASM (b, U54-1); 5. *R. senonicus*, ASM (b, R33); 6. *Retroprojectus pseudosenonicus*, ASM (b, F31-1); 7. *Triprojectus attenuatus*, AS2 (b, M49-4); 8. *T. aucellatus*, AS1 (b, S29). 9–10, Oculata-type pollen grains. 9. *Wodehouseia spinata*, AS1 (b, R29-2); 10. *W. stanleyi*, AS1 (b, W25-3). Scale bar: 10 μ m. ASM, AS1, and AS2 denote sample numbers from three different horizons, and the single alphabet letter and three-five-digit alphanumeric characters in parentheses indicate the slide number with the position of the pollen grain under an England Finder graticule.

結 果

本研究であつかった3試料からは、いずれも保存状態の良い花粉化石を産出した。同定の結果、全体で52属72種の孢子・花粉化石が得られた。被子植物としては15属22種が含まれており、その中で *Aquilapollenites* 属がもっとも卓越し、次いで *Wodehouseia* 属が多く産出した。本研究では、年代決定に役立つ Triprojectate 型と Oculata 型の花粉6属10種に着目する。Triprojectate 型花粉(三つの翼と三つの溝をもつ花粉)および Oculata 型花粉(形が小判状の花粉)は、北半球の中・高緯度地域において、後期白亜紀から前期古第三紀にかけての時代指標に用いられている (Zaklinskaya, 1966, 1981; Samoilovich, 1977; Srivastava, 1978, 1981; Batten, 1981; Herngreen and Chlonova, 1981; Nichols and Sweet, 1993; Herngreen et al., 1996

など)。Triprojectate 型花粉は10属以上を含み、現生のビャクダン目(特にオオバヤドリギ科)に類縁があると考えられている (Funkhouser, 1961)。日本においては、中部・北日本のカンパニアン～マーストリヒチアンから報告され、その分布域や層位分布が高橋によりまとめられている (高橋, 1976; Takahashi, 1984)。

Triprojectate 型としては *Aquilapollenites aequus* Bolkhovitina, 1959 (Fig. 3-1), *A. quadrilobus* Rouse emend. Srivastava and Rouse, 1970 (Fig. 3-2), *Integricorpus protrusum* (Takahashi and Shimono) Braman, 2002 (Fig. 3-3), *Reticorpus delicatus* (Stanley) Braman, 2013 (Fig. 3-4), *R. senonicus* (Mtchedlishvili) Braman, 2013 (Fig. 3-5), *Retroprojectus pseudosenonicus* (Frederiksen) Braman, 2013 (Fig. 3-6), *Triprojectus attenuatus* (Funkhouser) Braman, 2013 (Fig. 3-7), *T. aucellatus* (Srivastava

Fig. 4. Stratigraphic range of index pollen grains obtained from the Sarao Interbedded Sandstone and Mudstone Member of the Asuwa Formation in central Japan, with inferred ages. The double-headed arrow indicates the inferred geological age range for the Sarao Interbedded Sandstone and Mudstone Member. Sa: Santonian, Ca: Campanian, Ma: Maastrichtian, Da: Danian, Se: Selandian, Th: Thanetian.

tava) Braman, 2013 (Fig. 3-8) が, Oculata 型としては *Wodehouseia spinata* Stanley, 1961 (Fig. 3-9), *W. stanleyi* Srivastava, 1966 (Fig. 3-10) が得られた (Table 1).

議 論

皿尾砂岩泥岩部層の試料 (AS1 および AS2) から, 時代決定に有効な被子植物花粉化石として Triprojectate 型花粉である *Aquilapollenites quadrilobus* (産出時代範囲は上部カンパニアン～マーストリヒチアン, 以下同様), *Reticorpus delicatus* (マーストリヒチアン), *Triprojectus attenuatus* (カンパニアン～暁新世), *T. auctellatus* (マーストリヒチアン) の 3 属 4 種が, Oculata 型花粉では, *Wodehouseia spinata* (マーストリヒチアン～暁新世) と *W. stanleyi* (マーストリヒチアン) の 1 属 2 種が得られた. これらの種の層序学的分布から, AS1 および AS2 の堆積年代はマーストリヒチアンであると判断される (Fig. 4).

一方, ASM からは, AS1・AS2 と共通する Triprojectate 型の *Reticorpus delicatus*, *Triprojectus attenuatus*

と Oculata 型の *Wodehouseia spinata* に加えて, Triprojectate 型の *Aquilapollenites aequus* (後期白亜紀), *Integricorpus protrusum* (マーストリヒチアン), *Reticorpus senonicus* (サントニアン最上部～暁新世) と *Retroprojectus pseudosenonicus* (マーストリヒチアン) が得られた. 各種の層序学的分布から判断して, 本試料の堆積年代も AS1 および AS2 と同様に白亜紀末期マーストリヒチアンと結論される (Fig. 4). 本群集では Triprojectate 型花粉がプレバート中の花粉粒子の 90% 以上を占め, その中では *Reticorpus delicatus* が 42%, *Retroprojectus pseudosenonicus* と *Aquilapollenites aequus* がそれぞれ 30% および 25% を占めていた. このように ASM の群集は AS1 および AS2 とは見かけ上組成に大きな違いが認められるが, これはより局所的な植生を反映したものと考えられる.

近年, 濃飛流紋岩類については多くの絶対年代値が蓄積され, その活動史について新しい知見が提出されている. 山田・小井戸 (2005) は濃飛流紋岩類が 85～68 Ma (カンパニアン～マーストリヒチアン) に及ぶ後期白亜紀の比較的長い期間に活動し, 分布域も時代とともに変化したことを指摘したのに対し, Hoshi et al. (2016) および星ほか (2016) は, 新たに得られたジルコンの U-Pb 年代に基づいて, 濃飛流紋岩類の活動が 72～70 Ma の短期間に集中することを指摘した. 一方, 濃飛流紋岩類の西方延長とされる九頭竜湖南方の面谷流紋岩については, 中島・岩野 (1987) により 67.3 ± 1.3 Ma のフィッション・トラック年代が報告されているが, それよりも西の地域については放射年代値が報告されていない. このため面谷地域よりも西に分布する足羽層および相当層 (塚野, 1969) ならびに後期白亜紀流紋岩類 (Fig. 1A) の位置づけや, 中部地方における白亜紀末期の火成活動の広がりやを議論する妨げとなっていた.

上述のように, 本研究により, 酸性凝灰岩を伴う足羽層皿尾砂岩泥岩部層の花群集は, 濃飛流紋岩類に対比される大雨見山層群宮谷川層 (Takahashi and Shimono, 1982) や大道谷層 (高橋, 1991; Nichols et al., 2010) の群集と共通性が高く (Table 1), その年代は白亜紀末期のマーストリヒチアンを示すことが明らかとなった. これは山田ほか (2005) が示した濃飛流紋岩類形成の火成活動ステージ NOHI-3 から 4 にあたる. 山田ほか (2005) はステージ NOHI-1 の岐阜県恵那市周辺の火成活動が NOHI-3 および 4 に向かって北西方向へと広域化したことを示唆した. 本研究の結果は NOHI-3 から 4 の火成活動が従来の見解よりもさらに西方へと拡大していたことを示唆する可能性がある. 一方, 本研究の結果は星ほか (2016) による短期間の活動期とも一致し, この仮説も否定するものではない. 濃飛流紋岩類の活動時期, および活動域の変遷の問題を解決するためには, 濃飛流紋岩類の分布の周辺域を含めた, さらに広域にわたる年代層序の解明が求められよう.

ま と め

足羽層上部の皿尾砂岩泥岩部層中の泥岩層から 52 属 72 種の花群・胞子化石を得た. このうち, 後期白亜紀～古第三

紀初期の生層序に重要な Triprojectate 型および Oculata 型の被子植物花粉 6 属 10 種の組成から、本部層の堆積年代は白亜紀末期のマーストリヒチアンと結論した。この結果は、濃飛流紋岩類を形成した火成活動の時期とも一致しており、従来の見解よりもより西方でも火成活動が生じていたことを示す点で、濃飛流紋岩類形成時の火成活動の時空変遷を議論する上でも重要なデータとなる。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、池田町の山本 弘・美紀子夫妻には調査期間の宿泊などで大変便宜を図っていただいた。池田町役場には調査許可をいただき、調査の便宜を図っていただいた。大阪市立大学理学部附属植物園の山田敏弘博士には調査に同行し試料収集に協力いただいた。また、足羽植物群の化石を収蔵・展示する次の機関・個人にお世話になった：金沢大学理工研究域・ロバートジェンキンス博士、同大学環日本海域環境研究センター・塚脇真二博士、福井県立恐竜博物館・寺田和雄博士。査読者の梅津慶太博士、担当編集者の佐野晋一博士からは本稿を改善するために非常に有益な指摘をいただいた。以上の方々に心より感謝申し上げます。

文 献

- 天野昌久・遠藤誠道, 1952, 大道谷植物化石について(演旨). 地質雑, **58**, 317. [Amano, M. and Endo, S., 1952, On the plant fossils from Omichidani in the border between Ishikawa and Fukui Prefectures. *J. Geol. Soc. Japan*, **58**, 317.]*
- 安藤寿男, 2006, 関東平野東端の太平洋岸に分布する銑子層群・那珂湊層群・大洗層の地質学的な位置づけ. 地質雑, **112**, 84-97. [Ando, H., 2006, Geologic setting of the Choshi and Nakaminato Groups and Oarai Formation exposed along the Pacific coast in the eastern end of the Kanto Plain. *J. Geol. Soc. Japan*, **112**, 84-97.]
- Ando, H. and Tomosugi, T., 2005, Unconformity between the Upper Maastrichtian and Upper Paleocene in the Hakobuchi Formation, north Hokkaido, Japan: a major time gap within the Yezo forearc basin sediments. *Cretaceous Res.*, **26**, 85-95.
- Batten, D. J., 1981, Stratigraphic, palaeogeographic and evolutionary significance of late Cretaceous and early Tertiary normapollen. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **35**, 125-137.
- 福井県, 2010, 福井県地質図および同説明書(2010 年版). (財)福井県建設技術公社, 173 p. [Fukui Prefecture, 2010, *Geological Map of Fukui Prefecture and It's Explanatory Note*(2010). Fukui Prefectural Public Corporation of Construction Technology, 173 p.]*
- Funkhouser, J. W., 1961, Pollen of the genus *Aquilapollenites*. *Micropaleontology*, **7**, 193-198, pls. 1-2.
- Herngreen, G. F. W. and Cholonova, A. F., 1981, Cretaceous microfloral provinces. *Pollen et Spores*, **23**, 441-557.
- Herngreen, G. F. W., Kedves, M., Rovnina, L. V. and Smirnova, S. B., 1996, Cretaceous palynofloral provinces: a review. In Jansonius, J. and McGregor, D. C., eds., *Palynology: Principles and Applications*, AASP Foundation, 1157-1188.
- Hoshi, H., Iwano, H., Danhara, T. and Sako, K., 2016, U-Pb evidence for rapid formation of the Nohi Rhyolite, one of the largest caldera-forming volcanic complexes on Earth. 35th IGC 2016, Cape Town, 1512.
- 星 博幸・岩野英樹・檀原 徹・酒向和希, 2016, 濃飛流紋岩のジルコン U-Pb 年代: 約 70 Ma の急速形成. 日本地質学会第 123 年学術大会講演要旨, 81. [Hoshi, H., Iwano, H., Danhara, T. and Sako, K., 2016, U-Pb evidence for rapid formation of the Nohi Rhyolite at about 70 Ma. *123rd Annu. Meet. Geol. Soc. Japan, Abstr.*, 81.]
- 河合正虎, 1956, 飛騨山地西部における後期中生代の地殻変動—第 1 報(荒島岳南方山地の地質学的研究)—. 地質雑, **62**, 559-573. [Kawai, M., 1956, On the Late Mesozoic movement in the western part of Hida Plateau, Part 1 (Geological study in the southern mountainland of Arashimadake, Fukui Prefecture). *J. Geol. Soc. Japan*, **62**, 559-573.]
- 河田清雄・高田康秀・尾上 亨・梅村盛一, 1976, 岐阜県高山市西方の濃飛流紋岩中より植物化石の発見. 地質雑, **82**, 603-605. [Kawada, K., Takada, Y., Onoe, T. and Umemura, S., 1976, A plant fossil newly found from the Nohi Rhyolite, west of Takayama City, Gifu Prefecture, Central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **82**, 603-605.]
- Kryshstofovich, A. N., 1918, On the Cretaceous flora of Russian Sakhalin. *J. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo*, **40**, 1-72.
- Kryshstofovich, A. N., 1937, Cretaceous flora of Saghalien, Mgach and Polvinka. *Trans. Far Eastern Branch, Acad. Sci. USSR, Ser. Geol.*, **2**, 1-103 (in Russian).
- Legrand, J., Pons, D., Terada, K., Yabe, A., and Nishida, H., 2013, Lower Cretaceous (Upper Barremian-Lower Aptian?) palynoflora from the Kitadani Formation (Tetori Group, Inner Zone of Central Japan). *Paleontolog. Res.*, **17**, 201-229.
- Matsuo, H., 1954, Discovery of *Nelumbo* from the Asuwa flora (Upper Cretaceous) in Fukui Prefecture in the Inner side of Central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **14**, 155-158.
- Matsuo, H., 1962, A study on the Asuwa Flora (Late Cretaceous age) in the Hokuriku District, Central Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **8**, 177-250.
- 松尾秀邦, 1965, 本邦産後期白亜紀植物群について. 金沢大教養部論集, **1**, 39-65. [Matsuo, H., 1965, On the late Cretaceous flora in Japan. *Ann. Sci., Coll. Lib. Arts., Kanazawa Univ.*, **1**, 39-65.]
- Matsuo, H., 1970, On the Omichidani Flora (Upper Cretaceous), inner side of Central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **80**, 371-389, pls. 42-43.
- 松尾秀邦・喜田惣一郎, 1953, 福井県足羽川上流における足羽植物群(上部白亜系)の産出及び Angiosperm series について(演旨). 地質雑, **59**, 324. [Matsuo, H. and Kida, S., 1953, Occurrence of the Late Cretaceous Asuwa Flora from the upper reaches of Asuwa River in Fukui Prefecture and its implication in the Angiosperm Series. *J. Geol. Soc. Japan*, **59**, 324.]*
- 宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・市川浩一郎, 1993, 和歌山及び尾崎地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 68 p. [Miyata, T., Makimoto, H., Sangawa, A. and Ishikawa, K., 1993, *Geology of the Wakayama and Ozaki district*. Quadrangle Series, 1: 50,000, Geol. Surv. Japan, 68 p.]
- Nakae, S., 2012, Geology of the Permian Higashimata Complex in the Nanjo Mountains, Fukui Prefecture, Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **63**, 269-281.
- 中島正志・岩野英樹, 1987, 音見流紋岩と面谷流紋岩の外部ディテクター法によるフィッシュン・トラック年代. 地質雑, **93**, 925-928. [Nakajima, T. and Iwano, H., 1987, Fishshon-track ages measured by external detector method of the Otomi rhyolite and the Omodani rhyolite in Fukui Prefecture, central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **93**, 925-928.]
- Nichols, D. J., Matsukawa, M. and Ito, M., 2010, The geological age and phytogeographical significance of some metamorphosed palynomorphs from the Omichidani Formation of Japan. *Palynology*, **34**, 157-163.
- Nichols, D. J. and Sweet, A. R., 1993, Biostratigraphy of Upper Cretaceous nonmarine palynofloras in a north-south transect of the Western Interior basin. In Caldwell, W. G. E. and Kauffman, E. G., eds., *Evolution of the Western Interior Basin*, Geol. Assoc. Canada Spec. Pap. **39**, 539-584.
- 大久保 敦・木村達明, 1994, 福井県上部白亜系足羽層群産花粉孢子群集の発見とその意義. 日本古生物学会第 1994 年年会予稿集,

54. [Okubo, A. and Kimura, T., 1994, Discovery of pollen and spore assemblage from the Upper Cretaceous Asuwa Group in Fukui Prefecture with its implications. *Annu. Meet. Paleont. Soc. Japan* 1994, Abstr., 54.]
- 大村一夫, 1972, 足羽川上流および日野山北麓に分布する後期白亜系について. 岩井淳一教授退官記念事業会編, 岩井淳一教授記念論文集, 岩井淳一教授退官記念事業会, 423-431. [Omura, K., 1972, The Late Cretaceous deposits of the upper reaches of the Asuwa-gawa and the northern foot of Mt. Hino-san, Fukui Prefecture, central Japan. In Iwai Jun-Ichi Kyoju Taikan Kinen Jigyokai, ed., *Prof. Jun-Ichi Iwai Memorial Volume*, Iwai Jun-Ichi Kyoju Taikan Kinen Jigyokai, 423-431.]
- Samoilovich, S. R., 1977, A new outline of the floristic zoning of the Northern Hemisphere in the Late Senonian. *Paleontolog. J.*, **11**, 118-127 (in Russian with English translation).
- 曾根原崇文・八木公史, 2012, 高田流紋岩類灰ヶ峰層の K-Ar 年代: 中国地方中部における白亜紀火成活動の検討. 地質技術, **2**, 5-16. [Sonehara, T. and Yagi, K., 2012, K-Ar ages of the Haigamine Formation of the Takada Rhyolites: an examination on the Cretaceous magmatism in the central Chugoku district, Southwest Japan. *Engineer. Geol. Japan*, **2**, 5-16.]
- Srivastava, S. K., 1978, Cretaceous spore-pollen floras: A global evaluation. *Biol. Mem.*, **3**, 1-130.
- Srivastava, S. K., 1981, Evolution of upper cretaceous phyto-geopvinces and their pollen flora. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **35**, 155-173.
- 高橋 清, 1976, *Aquilapollenites* とその類似花粉について. 日本花粉学会会誌, **18**, 16-71. [Takahashi, K., 1976, On *Aquilapollenites* and its analogous pollen grains. *Japan. J. Palynol.*, **18**, 16-71.]
- Takahashi, K., 1984, Stratigraphic significance of three important pollen groups in the late Upper Cretaceous and Early Paleogene. *Japan. J. Palynol.*, **30**, 15-24.
- 高橋 清, 1991, 北陸上部白亜紀大谷谷層の花粉群集—特に triprojectate と oculata 花粉について—. 日本花粉学会会誌, **37**, 129-136. [Takahashi, K., 1991, Pollenflora from the Upper Cretaceous Omichidani Formation of Hokuriku-with special reference of triprojectate and oculata pollen species. *Japan. J. Palynol.*, **37**, 129-136.]
- Takahashi, K. and Shimono, H., 1982, Maestrichtian microflora of the Miyadani-gawa Formation in the Hida District, Central Japan. *Bull. Fac. Lib. Arts., Nagasaki Univ., Natl. Sci.*, **22**, 11-188.
- Tanai, T., 1979, Late Cretaceous floras from the Kuji District, Northeastern Honshu, Japan. *J. Fac. Sci., Hokkaido Univ., Ser. 4*, **19**, 75-136.
- 棚瀬充史, 1982, 奥美濃酸性岩類—両白山地における白亜紀火成作用. 地質雑, **88**, 271-288. [Tanase, A., 1982, Okumino Acid Igneous Complex-Cretaceous igneous activity in the Ryohaku Mountains, Central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, **88**, 271-288.]
- 棚瀬充史・笠原芳雄・原山 智・小井戸由光, 2005, 濃飛流紋岩周辺地域の後期白亜紀〜古第三紀火山岩類. 地団研専報, **53**, 159-171. [Tanase, A., Kasahara, Y., Harayama, S. and Koido, Y., 2005, Late Cretaceous to Paleogene volcanic rocks around the Nohi Rhyolite. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **53**, 159-171.]
- 塚野善蔵, 1969, 福井県地質図幅説明書. 国土地図株式会社, 117 p.
- [Tsukano, Z., 1969, Explanation Text of Geologic Map of Fukui Prefecture. Kokudo-chizu Publ. Co. Ltd., 117 p.]*
- Tsukano, Z. and Miura, S., 1959, On the Upper Cretaceous Formation and related some problems in the western part of the Hida Plateau, Japan. *Mem. Fac. Lib. Arts, Fukui Univ., Ser. II, Nat. Sci.*, **9**, 123-137.
- 山田直利・小井戸由光, 2005, 濃飛流紋岩の分布, 基盤, 年代および岩相の特徴. 地団研専報, **53**, 15-28. [Yamada, N. and Koido, Y., 2005, Nohi Rhyolite: Distribution, basement rocks, ages and lithologic features. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **53**, 15-28.]
- 山田直利・小井戸由光・原山 智・棚瀬充史・鹿野勘次・田辺元祥・曾根原崇文, 2005, 濃飛流紋岩の火山層序. 地団研専報, **53**, 29-69. [Yamada, N., Koido, Y., Harayama, S., Tanase, A., Shikano, K., Tanabe, M. and Sonehara, T., 2005, Volcanostratigraphy of the Nohi Rhyolite. *Monogr. Assoc. Geol. Collab. Japan*, **53**, 29-69.]
- Zaklinskaya, E. D., 1966, New taxa of angiosperm pollen from Upper Senonian Deposits of Kazakhstan. In Nejshtadt, M. I., ed., *The Importance of Palynological Analysis for the Stratigraphic and Paleofloristic Investigations*, Akademiya Nauk USSR, 121-127. (in Russian with English summary).
- Zaklinskaya, E. D., 1981, Phylogeny and classification of the normapolles. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **35**, 139-147.

* English translation from the original written in Japanese.

(著者プロフィール)

佐沢 豪 株式会社ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング事業本部地質解析事業部. 17 年 筑波大学生命環境学群卒・19 年 筑波大学大学院生命環境科学研究科地球進化学専攻博士前期課程修了・19 年から現職・研究内容: 本邦後期白亜紀の植物化石を用いた古環境推定・本研究では地質調査・花粉化石の採取・鑑定を担当・E-mail: tuyosaurus@gmail.com

ルグナン ジュリアン 東京大学大学院理学系研究科特任研究員. 05 年 ピュール・マリー・キュリー大学(パリ第六大学)大学院理学部体系学・進化学・古生物学専攻博士前期課程修了, 09 年 同大学大学院生物多様性学科古植物学・古花粉学専攻博士後期課程修了(博士・理学). 14 年 中央大学理工学部生命科学科助教, 19 年静岡大学理学部地球科学科学術研究員, 20 年から現職. 研究内容: 中生代花粉化石による初期被子植物の進化課程および古植生・古環境の解明, 花粉層序. 本研究では花粉分析・鑑定を担当. E-mail: legrand@bio.chuo-u.ac.jp

矢部 淳 国立科学博物館地学研究所研究主幹. 11 年 千葉大学大学院理学研究科論文博士取得(博士・理学), 12 年から現職. 研究内容: 新生代植物化石の進化と系統分類, 古植物地理. 本研究では研究計画の立案, 総括を担当. E-mail: yabeatsu@kahaku.go.jp

上松佐知子 筑波大学生命環境系准教授. 06 年 筑波大学生命環境科学研究科一貫性博士課程修了(博士・理学), 11 年から現職. 研究内容: 古生代コノドントの生層序と古生態, 古環境復元. 本研究では地質調査補助と岩相解析を担当・E-mail: agematsu@geol.tsukuba.ac.jp

指田勝男 筑波大学名誉教授. 理学博士. 80 年 筑波大学地球科学系助手, 90 年 筑波大学地球科学系助教授, 01 年 筑波大学生命環境科学研究科教授. 19 年 退職. 研究内容: 放散虫古生物学, 中生代地質学. 本研究では地質調査を実施, 岩相層序の検討, 原稿執筆を担当.

科学論文では, 学説の検証可能性を保証することが重要です. そのため, 地質学雑誌掲載論文には, 重要な証拠となった試料がどこで得られたかを示しているものがあります. 言うまでもないことですが, 見学や採取を行う場合, 各自の責任において地権者や関係官庁への連絡と許可の取得の必要があることにご注意下さい. 詳しくは, 以下のサイトをご覧ください.

<http://www.geosociety.jp/publication/content0073.html>

一般社団法人日本地質学会